



**PATENT APPLICATION**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of

Docket No: Q80204

Masahiro SATOH, et al.

Appln. No.: 10/792,218

Group Art Unit: Not yet assigned

Confirmation No.: Not yet assigned

Examiner: Not yet assigned

Filed: March 4, 2004

For: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING DIRECTIONAL, AND COMPUTER PROGRAM

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENTS**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith are certified copies of the priority documents on which a claim to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority documents.

Respectfully submitted,

*Ronald Kasper*

SUGHRUE MION, PLLC  
Telephone: (202) 293-7060  
Facsimile: (202) 293-7860

Alan J. Kasper  
Registration No. 25,426

*RS# 94,186*

WASHINGTON OFFICE

**23373**

CUSTOMER NUMBER

Enclosures: JAPAN 2003-058068  
JAPAN 2004-040501

Date: April 8, 2004

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月 5日  
Date of Application:

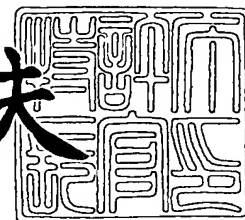
出願番号 特願2003-058068  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2003-058068]

出願人 シチズン時計株式会社  
Applicant(s):

2004年 2月 4日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 P-26397

【提出日】 平成15年 3月 5日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 G01R 33/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社内

【氏名】 佐藤 雅浩

【発明者】

【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社内

【氏名】 寺嶋 一彦

【発明者】

【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社内

【氏名】 佐藤 惇司

【特許出願人】

【識別番号】 000001960

【氏名又は名称】 シチズン時計株式会社

【代表者】 梅原 誠

【電話番号】 0424-68-4748

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003517

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

●  
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 方位測定システムと電子方位計

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 観測軸である  $x$  軸と直交する  $y$ 、 $z$  軸に配置された少なくとも 2 軸の磁気センサと少なくとも 2 軸の傾斜センサを具備し、観測軸方向の方位を測定する手段を有する電子方位計において、

前記  $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸方向の各地磁気量に相当する出力値を磁気センサから取得して算出する地磁気出力算出手段と、

前記  $x$  軸と水平面のなすピッチ角  $\beta$   $g$  と前記  $y$  軸と水平面の成すロール角  $\alpha$   $g$  を前記傾斜センサから取得して算出する傾斜角算出手段と、

前記ピッチ角  $\beta$   $g$  と前記ロール角  $\alpha$   $g$  から回転角  $\beta$ 、 $\alpha$  を算出する回転角算出手段と、

3 回回転座標式に基づく算出式から方位を算出する方位算出手段を有することを特徴とする方位測定システム。

【請求項 2】 前記方位算出手段の前に、偏角値  $D$  を入手するための偏角値入手手段を有し、前記方位算出手段が、前記 3 回回転座標式から算出される値を基に、さらに前記偏角値  $D$  を補正して算出する手段を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方位測定システム。

【請求項 3】 前記磁気センサが  $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸から選ばれる 2 軸に構成され、  
前記地磁気出力算出手段が、全地磁気量に相当する出力値  $S_h'$  の入手手段と、前記出力値  $S_h'$  と、前記 2 軸方向の各地磁気量に相当する出力値を磁気センサから取得して算出された 2 軸方向の磁気センサの出力値を用いて算出する 2 軸地磁気出力算出手段と、残りの第 3 軸方向の地磁気量に相当する出力値を算出する第 3 軸地磁気出力算出手段を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の方位測定システム。

【請求項 4】 前記方位算出手段は、前記 3 回回転座標式に基づく計算式から導き出される方位余弦角  $\cos \theta$  を演算する方位余弦角測定手段と、

前記 3 回回転座標式に基づく計算式から導き出される方位正弦角  $\sin \theta$  を演算

する方位正弦角測定手段と、

前記方位余弦角または前記方位正弦角から選ばれるいずれか一つの逆関数を算出し、前記方位余弦角と前記方位正弦角の正負を判別した上で、前記逆関数の方位角を算出する手段であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の方位測定システム。

【請求項5】 前記方位算出手段は、前記3回回転座標式に基づく計算式から導き出される方位正接角  $\tan \theta$  を演算する正接角測定手段と、前記正接角の逆関数と、前記方位余弦角または前記方位正弦角の正負を判別して方位を算出する手段であることを特徴とする請求項4に記載の方位測定システム。

【請求項6】 前記方位正弦角測定手段が、前記回転角  $\alpha$  と、前記地磁気出力算出手段より得られる観測軸を除く2つの軸の地磁気出力値及び地磁気の伏角  $I$  から前記方位正弦角を導き出される手段であり、  
前記方位余弦角測定手段が、前記回転角  $\beta$  と、前記地磁気出力算出手段より得られる観測軸方向の地磁気出力値及び地磁気の伏角  $I$  から前記方位余弦角を導き出される手段であることを特徴とする請求項4に記載の方位測定システム。

【請求項7】 前記地磁気の伏角  $I$  は、測定位置情報を入手する手段と測定位置に対応する地磁気の伏角  $I$  を入手する手段からなることを特徴とする請求項6に記載の方位測定システム。

【請求項8】 請求項1～7に記載の方位測定システムを組み込んで演算処理装置を構成することを特徴とする電子方位計。

【請求項9】 さらに、測定位置に対応する偏角値、全地磁気量、伏角値を取得するための情報入出力装置を有することを特徴とする請求項8に記載の電子方位計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気センサを用いて方位測定を行うシステムと電子方位計に関するものであり、特に傾斜センサと磁気センサを用いた系で高精度に方位を測定するための方位測定システムと電子方位計を提供するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

電子方位計は、複数の磁気センサを用いてそれぞれの地磁気量を測定し、そのセンサから得られた結果から演算を行い、観察したい方向すなわち観測軸の方位を算出するものである。この電子方位計の応用分野としては、携帯電話、PDAといった携帯情報端末や腕時計、車両用方位計であるカーナビゲーション装置、航空機の姿勢検出、視覚障害者向け、ゲーム機といったものまで知られている。

特に、近年携帯情報端末向けの位置情報提供サービスが始まっており、このサービスによれば、利用者は携帯情報端末の現在位置情報が分かるため、利用者が携帯情報端末に現れる地図上のどこにいるのかが画面を見ながらにして分かる。更に、上述の様に携帯情報端末に電子方位計を組み合わせることにより、利用者が今どこに向いているのか、或いは向かおうとしているのかが分かる。この位置情報と電子方位計に関する情報提供サービスは、今後多くの産業界に新しいビジネスを生み出し、また利用者に有益な情報を与えてもらえることは明確であり、それに伴って搭載される電子方位計には、現状より質、精度の高いものが求められていく状況にある。

## 【0003】

上記の質と精度の向上とは、より正確に方位を測定するというを示しているが、電子方位計が水平面から傾斜した場合には正確に方位角を測定できないという問題があった。電子方位計の利用者は、様々な使用方法、持ち方をすることが想定され、電子方位計すなわち磁気センサが水平面に対して傾斜した状態で使用することも十分に考えられる。この場合の磁気センサの出力は、観測軸が同じ方位角を示していても傾斜角によって出力が変化するため、計算から算出される方位角には誤差が発生してしまう。

## 【0004】

上記の問題点に対して、傾斜に対する補正が自動的に行える全方位磁気センサが公開されている（例えば、特許文献1参照。）。

この全方位磁気センサでは、図5のフローチャートに示した通りの手段により正確な方位を算出できるとある。つまり、その手段とは、磁気センサと傾斜セン

サを用いて、各センサからの出力を獲得し（S32、S34）、配置された磁気センサから3次元の磁気ベクトル検出信号を受け取り、傾斜角に基づいて座標変換し、水平磁界成分の磁気ベクトルを算出（S36）、更に水平磁界成分の磁気ベクトルから方位角を算出する（S38）という構成である。

#### 【0005】

また、他の従来技術においても、傾斜による誤差のない方位測定が可能となり、真方位を提示できる方位出力装置が示されている（例えば特許文献2参照）。

この方位出力装置は、算出した磁方位に対して偏角値を補正して真方位を得るという方法を採用している。その手段について下記に説明する。

真北すなわち地図上の北と磁北すなわち磁針の示す北とは若干のズレを生じる。日本では全ての地域が西偏となっているため、磁針は真北から若干西寄りを指し示す。この方法によれば、その偏角値で測定された値を補正することで、地図上の北と磁気センサで算出した磁方位の誤差を修正することが可能となる。

#### 【0006】

2軸の磁気センサを用いた場合は、x軸とy軸が水平面上に対してある傾斜角を有している系で、鉛直軸周りに回転させると、x軸とy軸の出力は単純なsin波形、cos波形では表すことはできず、傾斜角によって伏角などの要素に依存した複雑な波形を示す。すると、 $\theta = \tan^{-1}(y/x)$ で示される方位 $\theta$ には多くの誤差を含んだ計算式となる。それに対して、上記の構成はいずれも従来の2軸磁気センサを用いた構成と比較して、より精度よく方位角を算出することが可能となる。

#### 【0007】

##### 【特許文献1】

特開2002-196055号公報（第5頁、数2）

##### 【特許文献2】

特許第3008813号公報（第10頁、図5）

#### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】



しかしながら、特許文献2に示した方法においても、水平状態から傾斜した場合には方位角の測定誤差は発生し、更に傾斜角が大きくなるほど誤差も大きくなってしまふという問題があった。

#### 【0009】

つまりこの構成では、回転行列を利用して地磁気ベクトルを水平磁界成分に戻すという方法を採用しており、絶対座標系でのX軸周りに回転させる回転行列式とY軸周りに回転させる回転行列式の積を用いている。なお、ここでは観測座標系をx y z軸、水平面と鉛直方向の絶対座標系をX Y Z軸とする。この場合の回転軸としては、絶対座標系（水平面上にX Y軸がある系）を用いた場合に相当すると考えられ、X軸周りの回転行列式の役割は、y軸を水平面にすることであり、Y軸周りの回転行列式の役割は、x軸を水平面にすることとして算出している。

#### 【0010】

このいずれの構成においてもx、y軸を水平面に変換する作業、すはわちX軸周りにロール角分逆回りに回転させ、Y軸周りにピッチ角分逆回りに回転させると厳密には水平面に変換できないという問題がある。その理由は、水平面との成す角度をそのまま回転行列式に利用できないという点にある。まず、y軸を水平にするためにX軸周りロール角分逆回りに回転させると、y軸は水平になるもののx軸も同様に移動してしまう。すると、x軸の水平面との成す角はピッチ角とのずれを生じるため、X軸周りにピッチ角分逆回りに回転を行ってもx軸を水平面にすることができず、更には水平に保っていたy軸も水平からずれてしまうことが考えられる。

#### 【0011】

よって、上記の構成では、傾斜角の条件によっては地磁気ベクトルが水平面に戻っていないために、その分の誤差を含んだ結果となることが考えられる。よって、より高い精度の方位角を得るには十分その機能を果たすものではなかった。

本発明の目的は、上記課題を解決して、傾斜センサと磁気センサを用いた系で、電子方位計が水平面から傾斜した場合でもより正確に方位角を測定するための測定システムと電子方位計を提供するものである。

## 【0012】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明の方位測定システムと電子方位計は下記記載の形態を採用する。

## 【0013】

本発明の方位測定システムは、観測軸である  $x$  軸と直交する  $y$ 、 $z$  軸に配置された少なくとも 2 軸の磁気センサと少なくとも 2 軸の傾斜センサを具備し、観測軸方向の方位を測定する手段を有する電子方位計において、前記  $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸方向の各地磁気量に相当する出力値を磁気センサから取得して算出する地磁気出力算出手段と、前記  $x$  軸と水平面のなすピッチ角  $\beta g$  と前記  $y$  軸と水平面の成すロール角  $\alpha g$  を前記傾斜センサから取得して算出する傾斜角算出手段と、前記ピッチ角  $\beta g$  と前記ロール角  $\alpha g$  から回転角  $\beta$ 、 $\alpha$  を算出する回転角算出手段と、3 回回転座標式に基づく算出式から方位を算出する方位算出手段を有することを特徴とする。

## 【0014】

また上記構成に加えて、前記方位算出手段の前に、偏角値  $D$  を入手するための偏角値入手手段を有し、前記方位算出手段が、前記 3 回回転座標式から算出される値を基に、さらに前記偏角値  $D$  を補正して算出する構成であってもよい。

## 【0015】

また、本発明の方位測定システムは、前記磁気センサが  $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸から選ばれる 2 軸に構成され、前記地磁気出力算出手段が、全地磁気量に相当する出力値  $S h'$  の入手手段と、前記出力値  $S h'$  と、前記 2 軸方向の各地磁気量に相当する出力値を磁気センサから取得して算出された 2 軸方向の磁気センサの出力値を用いて算出する 2 軸地磁気出力算出手段と、残りの第 3 軸方向の地磁気量に相当する出力値を算出する第 3 軸地磁気出力算出手段を有する構成であってもよい。

## 【0016】

前述した方位計測手段の構成としては、前記 3 回回転座標式に基づく計算式から導き出される方位余弦角  $\cos \theta$  を演算する方位余弦角測定手段と、前記 3 回回転座標式に基づく計算式から導き出される方位正弦角  $\sin \theta$  を演算する方位

正弦角測定手段と、前記方位余弦角または前記方位正弦角から選ばれるいずれか一つの逆関数を算出し、前記方位余弦角と前記方位正弦角の正負を判別した上で、前記逆関数の方位角を算出する手段から構成される。または、前記3回回転座標式に基づく計算式から導き出される方位正接角  $\tan \theta$  を演算する正接角測定手段と、前記正接角の逆関数と、前記方位余弦角または前記方位正弦角の正負を判別して方位を算出する構成とすることも可能である。

#### 【0017】

更に詳細には、前記方位正弦角測定手段が、前記回転角  $\alpha$  と、前記地磁気出力算出手段より得られる観測軸を除く2つの軸の地磁気出力値及び地磁気の伏角  $I$  から前記方位正弦角を導き出される手段であり、前記方位余弦角測定手段が、前記回転角  $\beta$  と、前記地磁気出力算出手段より得られる観測軸方向の地磁気出力値及び地磁気の伏角  $I$  から前記方位余弦角を導き出される手段である。

この地磁気の伏角  $I$  は、測定位置情報を入手する手段と測定位置に対応する地磁気の伏角  $I$  を入手する手段により実現が可能である。地球上の多くの地域において、地磁気は水平面上になく、水平面とある傾きを持っており、その角度が伏角  $I$  に相当する。よって、伏角  $I$  は緯度  $\phi$  や経度  $\lambda$  といった測定位置情報を入手する手段と測定位置に対応する地磁気の伏角  $I$  を入手する手段から構成されるものであってもよい。

#### 【0018】

本発明の電子方位計は、前述した方位測定システムを組み込んで演算処理装置を構成したものであり、さらに、測定位置に対応する偏角値、全地磁気量、伏角値を取得するための情報入出力装置を有するものであっても構わない。

#### 【0019】

##### 【発明の実施の形態】

本発明は観測座標系である  $x y z$  軸を方位角  $\theta$  を含む絶対座標系  $X Y Z$  軸系での3回回転座標式に変換し、固定座標にある地磁気ベクトルとの関係式を導き、直接  $\theta$  を算出する方位測定システムである。アルゴリズムとしても簡素な形であり、高精度に方位角を測定することが可能となる。

以下図面を用いて本発明の実施例について説明する。

## 【0020】

## (実施例 1)

第 1 図は、本発明の方位測定システムのフローチャートを示したものであり、第 6 図は、本発明の電子方位計の基本構成を示した概念図である。

図 6 に示す様に、電子方位計 2 は、磁気センサ 4、傾斜センサ 6、演算処理装置 8 によって構成される。ここで示す磁気センサ 4 は、x 軸磁気センサ 12、y 軸磁気センサ 14、z 軸磁気センサ 16 と、それぞれのセンサから磁気センサの駆動及び磁気センサからの出力値を取り出し、演算処理装置 8 にその出力値を与える磁気センサ信号処理回路 18 から構成される。傾斜センサ 6 は、x 軸傾斜センサ 20、y 軸傾斜センサ 22、z 軸傾斜センサ 24 と、それぞれのセンサから傾斜センサの駆動及び傾斜センサからの出力値を取り出し、演算処理装置 8 に出力値を与える傾斜センサ信号処理回路 26 から構成される。

## 【0021】

次に、第 1 図のフローチャートを用いて本発明の第 1 の実施例の方位測定システムについて説明する。

まず、図 6 に示した磁気センサ 4 で測定した各軸方向の地磁気量に相当する出力値を演算処理装置 8 に転送する。ここでは、図 1 に示す様に地磁気出力算出手段 (S2) は、各軸の出力値を規格化する手段を示す。例えば x 軸磁気センサ 12 の出力値は、下記に示す (数 1) で示される出力合計値  $S_h$  を用いて規格化される。出力合計値  $S_h$  とは、各軸の出力の自乗の和の平方根で与えられ、全地磁気量に相当する出力値となる。

## 【数 1】

$$\left| \vec{x}_H' \right| = \frac{\left| \vec{x}_H \right|}{\left| S_h \right|}$$

$\left| \vec{x}_H' \right|$ : x 軸方向の磁気センサの出力値を全体の出力値で規格化した値

$\left| \vec{x}_H \right|$ : x 軸方向の磁気センサの出力値

$\left| S_h \right|$ : 全地磁気量に相当する磁気センサの出力値  $\left( \left| S_h \right| = \sqrt{\left| \vec{x}_H \right|^2 + \left| \vec{y}_H \right|^2 + \left| \vec{z}_H \right|^2} \right)$

## 【0022】

次に、傾斜センサ 6 で測定した各軸方向の傾斜角に相当する出力値を演算処理装置 8 に転送する。傾斜角算出手段 (S 4) は、水平面と y 軸の成すロール角  $\alpha_g$ 、水平面と x 軸のなすピッチ角  $\beta_g$  を測定して算出する手段である。

ここでは、加速度センサを用いた場合について説明する。2 軸及び 3 軸の加速度センサの出力は、他軸感度が少なく、水平面とそれぞれの軸のなす角度を求めることができる。出力合計値  $W_g$  は、各軸の出力値の自乗の和の平方根で与えられ、ロール角  $\alpha_g$  は下記に示す (数 2) の様に算出でき、また同様に  $\beta_g$  も算出することができる。

## 【数 2】

$$\alpha_g = \sin^{-1} \frac{|\bar{y}_g|}{W_g}$$

$|\bar{y}_g|$ : Y' 軸方向の加速度センサ の出力値

$|W_g|$ : 重力加速度に相当する加速度センサの出力 合計値  $\left( |W_g| = \sqrt{|\bar{x}_g|^2 + |\bar{y}_g|^2 + |\bar{z}_g|^2} \right)$

## 【0023】

次に本発明の第 1 のポイントとなる回転角算出手段 (S 6) について説明を行う。

上述に示した通り、上記の各軸と水平面のなす角度は、本発明の 3 回回転座標式に対応した回転角への変換を行う必要がある。

## 【0024】

本発明の 3 回回転座標式のベースとなる行列式は、下記の回転行列式 (数 3) の積で表現される。この式 (数 3) は X 軸周りの反時計方向に  $\alpha$ 、Y 軸周りの反時計方向に  $\beta$ 、Z 軸周りの反時計方向に  $\theta$  回転させたときの回転行列式である。

## 【数 3】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

## 【0025】

ここで、絶対座標系 X 軸、Y 軸、Z 軸の単位方位ベクトルが、上記の回転行列式に従って、観測座標系の x 軸、y 軸、z 軸に移動したとする。すると、観測座標系 x y z 軸は、下記の形の  $\theta$  を含んだ絶対座標系における座標成分の関係式（数 4）、（数 5）、（数 6）で表すことが可能となる。

## 【数 4】

$$\begin{bmatrix} x_X \\ x_Y \\ x_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta \times \cos \theta \\ -\cos \beta \times \sin \theta \\ \sin \beta \end{bmatrix}$$

## 【数 5】

$$\begin{bmatrix} y_X \\ y_Y \\ y_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \times \sin \theta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta \\ \cos \alpha \times \cos \theta - \sin \alpha \times \sin \beta \times \sin \theta \\ -\sin \alpha \times \cos \beta \end{bmatrix}$$

## 【数 6】

$$\begin{bmatrix} z_X \\ z_Y \\ z_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \alpha \times \sin \theta - \cos \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta \\ \sin \alpha \times \cos \theta + \cos \alpha \times \sin \beta \times \sin \theta \\ \cos \alpha \times \cos \beta \end{bmatrix}$$

## 【0026】

この関係式において、回転角  $\beta$  は加速度センサから計算される角度、すなわち x 軸と水平面のなすロール角  $\beta_g$  と等しくなるが、回転角  $\alpha$  は y 軸と水平面のなすピッチ角  $\alpha_g$  と等しくはならない。それは、（数 4）、（数 5）、（数 6）における X Y Z 各成分値から算出することができる。すると、x 軸の成分から回転角  $\beta$  は  $\beta_g$  となり、 $\alpha$  は y 軸の成分から下記の式（数 7）により与えられる。

【数 7】

$$\alpha = -\sin^{-1} \frac{\tan \alpha_g}{\sqrt{\cos^2 \beta_g \times (1 + \tan^2 \alpha_g)}}$$

$$\beta = \beta_g$$

上記の  $\alpha$  の式で負の符号がついているのは、 $\alpha_g$  と  $\alpha$  の関係に依存するものであり、本実施例においては  $\alpha$  と  $\alpha_g$  は符号が逆になるため符号がついている。以上の通り、回転角算出手段 (S 6) では、上記の式 (数 7) に従って、回転角  $\alpha$  と  $\beta$  を傾斜角  $\alpha_g$  と  $\beta_g$  から変換して算出する。

【0027】

次に本発明の第 2 のポイントとなる方位算出手段 (S 8) について説明を行う。

方位算出手段で用いる算出式は、 $\theta$  を算出するための簡単な式になるが、本発明の基本となる構成の 3 回回転座標式について更に詳細に説明を行う。

【0028】

まず、 $x y z$  軸方向の磁気センサの出力と地磁気の方角との関係に着眼する。地磁気以外に磁気影響がない系において、 $x$  軸が地磁気方向にある場合、 $x$  軸の磁気センサの出力値は最大値  $S_h$  を示す。更にその出力を  $x_H$ 、地磁気方向のベクトルと  $x$  軸のなす角を  $\gamma_x$  とすると、 $x_H$  は地磁気方向の出力値  $S_h$  と  $\gamma_x$  の余弦角  $\cos \gamma_x$  の積に比例した形で表すことができる。ここで  $x$  軸方向の単位方位ベクトルと地磁気ベクトルの内積を考えると、下記の式 (数 8) の様に導かれて  $x$  軸磁気センサの出力に等しくなるということが分かる。他の  $y$ 、 $z$  軸についても同様の関係式を見いだせる。

【数 8】

$$\bar{x} \circ \bar{S}_h = |\bar{x}| \times |\bar{S}_h| \times \cos \gamma_x = |\bar{x}| \times |\bar{x}_H| = |\bar{x}_H|$$

$\bar{x}$ :  $X'$  軸方向の単位方位ベクトル

$|\bar{x}_H|$ : 磁気センサ出力値

【0029】

一方、 $x y z$  軸の絶対座標系での成分と地磁気ベクトルの内積をとると、下記の (数 9)、(数 10)、(数 11) の関係式が得られる。なお、ここで地磁気

の水平面との傾きである伏角を  $I$  とし、水平面より上側を正の角度とした。よって、日本においては、水平面より下側に向いているために負の角度を示すことになる。

【数 9】

$$\vec{x} \cdot \vec{S}_h = \begin{bmatrix} x_x \\ x_y \\ x_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} |S_h| \cos I \\ 0 \\ |S_h| \sin I \end{bmatrix} = |S_h| \times (\cos I \times \cos \beta \times \cos \theta + \sin I \times \sin \beta) = |\vec{x}_H|$$

【数 10】

$$\vec{y} \cdot \vec{S}_h = \begin{bmatrix} y_x \\ y_y \\ y_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} |S_h| \cos I \\ 0 \\ |S_h| \sin I \end{bmatrix} = |S_h| \times [\cos I \times (\cos \alpha \times \sin \theta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta) - \sin I \times \cos \beta \times \sin \alpha] = |\vec{y}_H|$$

【数 11】

$$\vec{z} \cdot \vec{S}_h = \begin{bmatrix} z_x \\ z_y \\ z_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} |S_h| \cos I \\ 0 \\ |S_h| \sin I \end{bmatrix} = |S_h| \times [\cos I \times (\sin \alpha \times \sin \theta - \cos \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta) + \sin I \times \cos \alpha \times \cos \beta] = |\vec{z}_H|$$

【0030】

上記の(数9)、(数10)、(数11)をまとめ、地磁気出力算出手段(S2)で述べた通り、 $x$   $y$   $z$  軸の出力値は全地磁気量  $S_h$  に相当する出力値で規格化していることから、(数1)の関係式を代入すると、下記の(数12)である3回回転座標式のベースとなる関係式が得られる。

【数 12】

$$\begin{bmatrix} |\vec{x}'_H| \\ |\vec{y}'_H| \\ |\vec{z}'_H| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos I \times \cos \beta \times \cos \theta + \sin I \times \sin \beta \\ \cos I \times \cos \alpha \times \sin \theta + \cos I \times \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta - \sin I \times \cos \beta \times \sin \alpha \\ \cos I \times \sin \alpha \times \sin \theta - \cos I \times \cos \alpha \times \sin \beta \times \cos \theta + \sin I \times \cos \alpha \times \cos \beta \end{bmatrix}$$

【0031】

この(数12)の連立方程式より、方位余弦角  $\cos \theta$ 、方位正弦角  $\sin \theta$



について求めると、下記の（数 13）、（数 14）が得られる。

【数 13】

$$\sin \theta = \frac{|\vec{y}_H| * \cos \alpha + |\vec{z}_H| * \sin \alpha}{\cos I}$$

【数 14】

$$\cos \theta = \frac{|\vec{x}_H| - \sin I \times \sin \beta}{\cos I \times \cos \beta}$$

【0032】

実際の方位角の算出は、上記の（数 13）あるいは（数 14）の逆関数を計算して  $\theta$  を求めることが必要である。伏角  $I$  は、測定位置が変わらなければ変動はないため、初期値としてその測定位置に対応する値を入力する。また、逆関数は  $-90^\circ$  から  $90^\circ$  の範囲を出力値として返すため、多少の条件分岐を行う必要がある。条件分岐は、 $\cos \theta$  が正、 $\sin \theta$  が負であれば  $\theta$  は  $270 \sim 360^\circ$  の範囲であり、 $\cos \theta$  が負、 $\sin \theta$  も正であれば  $\theta$  は  $90 \sim 180^\circ$  の範囲といった具合に  $\cos \theta$  と  $\sin \theta$  の正負関係を判別して示せば良い。

【0033】

なお、上記の（数 13）、（数 14）は、方位角を算出するためのベースとなる式であり、方位算出手段（S8）では、上記の式（数 13）、（数 14）に従って、地磁気算出手段（S2）、傾斜角算出手段（S4）、回転角算出手段（S6）で得られて転送された各種パラメータを代入し、方位余弦角あるいは正弦角の逆関数を算出、更に正負の判別を行い、方位角  $\theta$  を算出する。

【0034】

上述の通り、回転した各軸（観測座標系  $x y z$  軸）の方位ベクトルを単位ベクトルとして扱い、更に地磁気ベクトルとの関係に着眼することによって 3 回回転座標式を導く。この式が意味する重要な点は、回転角の角度  $\theta$  と観測軸の方位角が同一のものとして表現できるという点である。

これを実現する一つの方法として、空間座標内の球体面上の点を、 $X$  軸周りの

回転 $\alpha$ 、Y軸周りの回転 $\beta$ 、Z軸周りの回転 $\theta$ という3つの回転行列式の積で表し、観測軸をX軸として、上記の回転行列式中の $\theta$ を観測軸の方位角に対応させる。これは、観測したい軸を最初に回転させることと、最後に鉛直軸周りに回転させることが必要であり、上記の順序で回転させた空間座標の点を用いることで、 $\alpha$ と $\beta$ に依存することなく、回転角の角度 $\theta$ と観測軸の方位角が同一のものとして表現できる。

この様に、本発明の3回回転座標式は、上記の思想から導き出され、高精度に方位角 $\theta$ を導き出すための基本関係式となる。アルゴリズムも簡素であり、プログラムが複雑化しない点も大きな優位点である。

#### 【0035】

また、上記の3回回転座標式に対応させるために必要な要素として、傾斜角算出手段(S4)で取得した傾斜角を上記の3回回転座標式での回転角に変換する回転角算出手段(S6)が挙げられる。上記の回転順序の構成では、傾斜角測定手段(S4)で取得したロール角 $\alpha_g$ は3回回転座標式中の $\alpha$ とは異なってくる。すなわち、x軸は(100)を基準としてX軸周りの回転から始まるため、回転角 $\alpha$ がどの値でも(100)のまま変化しないことから、ピッチ角 $\beta_g$ はX軸と水平面の成す角であり、また回転角にも対応する。一方、y軸と水平面の成すロール角 $\alpha_g$ は、X軸周りの回転角度 $\alpha$ とY軸周りの回転角度 $\beta$ の影響を受けるため、回転角には対応しない。

この様に本発明の回転角算出手段(S6)は、上述の通り取得した傾斜角から3回回転座標式での回転角に変換する手段であり、高精度に方位角 $\theta$ を導き出すための必須要素となる。

#### 【0036】

なお、第1の実施例として、各軸の出力の規格化を演算処理装置8内で行うとして説明を行ったが、この操作は磁気センサ4内の信号処理回路18で行っても良く、傾斜センサの傾斜角算出の操作も傾斜センサ6内の信号処理回路26で行っても良い。

#### 【0037】

第1の実施例として、出力合計値 $S_h$ としては各軸の出力の自乗の和の平方根

を用いて説明を行ったが、必ずしもこれに限定されるものではなく、その測定場所での全地磁気量が分かれば、その全地磁気量に相当する磁気センサの出力値を用いても良く、またその測定場所での全地磁気量と測定した全地磁気量に相当する出力値を比較して補正することも可能である。

#### 【0038】

また、第1の実施例では、3軸加速度センサを用いて、出力合計値 $W_g$ を各軸の出力値の自乗の和の平方根で算出したが、重力加速度 $g$ がその $W_g$ に相当するため、その値を用いても良い。更にその場合、上記の出力合計値として $W_g$ を算出するとその測定における加速度量が分かるが、これを既知の重力加速度と比較することによって、重力以外の加速度因子が働いているかなどの情報も同時に分かり、それを利用した補正も考えられる。

さらに、傾斜センサとしては、3軸でなく2軸で行っても良い。その場合は、上記の重力加速度に相当する出力値 $W_g$ を入力することによって、傾斜角を算出することができる。

#### 【0039】

さらに、第1の実施例では地磁気出力算出手段(S2)と傾斜角算出手段(S4)の順序で方位を算出する手段について述べたが、必ずしもこれに限定する必要はなく、順序が逆であっても、また並列処理でも構わない。

#### 【0040】

以上の通り、本発明は、観測軸である $x$ 軸と直交する $y$ 、 $z$ 軸に配置された少なくとも2軸の磁気センサと少なくとも2軸の傾斜センサを具備し、観測軸方向の方位を測定する手段を有する電子方位計において、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 軸方向の各地磁気量に相当する出力値を磁気センサから取得して算出する地磁気出力算出手段(S2)と、 $x$ 軸と水平面の成すピッチ角 $\beta_g$ と $y$ 軸と水平面のなすロール角 $\alpha_g$ を傾斜センサから取得して算出する傾斜角算出手段(S4)と、前記ピッチ角 $\beta_g$ とロール角 $\alpha_g$ から回転角 $\beta$ 、 $\alpha$ を算出する回転角算出手段(S6)と、3回回転座標式に基づく算出式から方位を算出する方位算出手段(S8)を有しているという構成で正確な方位を算出することができる。

#### 【0041】

また、上記の関係式（数 7）、（数 13）、（数 14）は、回転角算出手段（S 6）がピッチ角  $\beta$  とロール角  $\alpha$  から 3 回回転座標式における回転角  $\beta$ 、 $\alpha$  に変換する手段である。また、方位算出手段（S 8）は、3 回回転座標式に基づく計算式から導き出される方位余弦角  $\cos \theta$  を演算する手段と方位正弦角  $\sin \theta$  を演算する手段と、方位余弦角または方位正弦角から選ばれるどちらかひとつの逆関数を算出した後に、方位余弦角と方位正弦角の正負を判別して、逆関数から算出された方位角を決定する手段である。これら手段を組み合わせることで正確な方位を算出することができる。

なお、この正弦角測定手段は、回転角  $\alpha$  と観測軸を除く 2 つの軸の地磁気出力値及び地磁気の伏角  $I$  から導き出される手段であり、前記余弦角測定手段が回転角  $\beta$ 、観測軸方向の地磁気出力値と地磁気の伏角  $I$  から導き出される手段から算出できるものである。

【0042】

（実施例 2）

図 7 は本発明の情報入力処理装置 10 を含む電子方位計 2 の概念図を示した図である。

本実施例は、第 1 の実施例と同様に、電子方位計 2 は磁気センサ 4、傾斜センサ 6、演算処理装置 8 によって構成されるが、更に偏角値出力が可能な情報入力処理装置 10 及びその情報入力処理装置 10 に偏角値入出力装置 30 を設けた電子方位計である。

【0043】

第 2 図は、本発明の偏角値補正を含む方位測定システムのフローチャートを示した図であり、地磁気算出手段（S 2）、傾斜角算出手段（S 4）、回転角算出手段（S 6）は、第 1 の実施例と同様の手順で行うものである。以下に前記回転角算出手段（S 6）以降に行う偏角値入手手段（S 10）および方位算出手段（S 12）について詳細に説明する。

【0044】

ここで示す偏角値入手手段（S 10）では、その測定位置での緯度  $\phi$  と経度  $\lambda$  を入手して測定位置に対応する偏角値  $D$  を出力する手段を示している。

まず、測定位置の緯度  $\phi$  と経度  $\lambda$  を入力し、情報入出力処理装置 10 にある偏角値入出力装置 30 にそのデータを転送する。この偏角値入出力装置 30 では、入力された緯度  $\phi$  と経度  $\lambda$  から、その場所での偏角値  $D$  を算出して出力する。日本国内では、国土地理院が磁気測量を実施した結果を公開しており、その表により各地の偏角値  $D$  を知ることができるが、偏角値を求める方法として、2 次式で近似した偏角値算出法で行うこともできる。具体的には、下記の式 (数 15) を用いて偏角値  $D$  を算出している。

【数 15】

$$D_{2000.0} = 7^{\circ}37.142' + 21.622' \Delta\phi - 7.672' \Delta\lambda + 0.442' \Delta\phi^2 - 0.32' \Delta\phi\Delta\lambda - 0.675' \Delta\lambda^2$$

$$\Delta\phi = (\text{測定位置での緯度 } \phi) - 37$$

$$\Delta\lambda = (\text{測定位置での経度 } \lambda) - 138$$

【0045】

そして、情報入出力処理装置 10 の偏角値入出力装置 30 で得られた偏角値  $D$  を演算処理装置 8 に転送する。方位算出手段 (S8) では、まず下記の式 (数 16) の正接角  $\tan \theta$  の逆関数から  $\theta$  を算出し、実施例 1 と同様な方法で求めた余弦角  $\cos \theta$  の正負を判別して方位角を算出する。

【数 16】

$$\tan \theta = \frac{\left( \left| \vec{y}_H' \right| \times \cos \alpha + \left| \vec{z}_H' \right| \times \sin \alpha \right) \times \cos \beta}{\left| \vec{x}_H' \right| - \sin I \times \sin \beta}$$

更に、上記の偏角値  $D$  を除算することによって、偏角値補正を行った方位角  $\theta$  を算出して出力を行う。

【0046】

上記構成により、実施例 1 に対して方位算出手段の前に、偏角値  $D$  を入手する偏角値入手手段 (S10) を有し、さらに方位算出手段が、3 回回転座標式で得られた値から前記偏角値  $D$  を補正して算出する構成とすることで、更に高精度に方位角を測定することが可能となる。

【0047】

(実施例 3)

図8は本発明の情報入力処理装置10を含む2軸磁気センサ4と2軸傾斜センサ6の電子方位計2の概念図を示したものである。本実施例は、第2の実施例と同様に構成されるが、情報入力処理装置10は偏角値入出力装置30に加え、全地磁気量入出力装置32を有する構成である。

#### 【0048】

第3図は、本発明の2軸磁気センサと2軸傾斜センサによる方位測定システムのフローチャートを示したものである。また、本実施例では図8に示したように2軸の磁気センサ4と2軸の傾斜センサ6を含む電子方位計2としているので、2軸地磁気出力算出手段(S16)が2軸の出力を測定する構成となっている。さらに、本実施例は、実施例2の構成に加えてSh'入手手段(S14)と第3軸地磁気出力算出手段(S18)を有する構成である。そのSh'入手手段(S14)と第3軸地磁気出力算出手段(S18)について詳細に説明する。

#### 【0049】

Sh'入手手段(S14)は、その測定位置での緯度 $\phi$ と経度 $\lambda$ を入手して測定位置に対応する全地磁気量Fを出力し、更にそれに相当する出力値Sh'を入手する手段を示している。この手段においては、実施例2と同様に、測定位置の緯度 $\phi$ と経度 $\lambda$ を入力し、情報入出力処理装置10部に転送される。また、情報入出力装置10の全地磁気量入出力装置32では、入力された緯度 $\phi$ と経度 $\lambda$ から、その場所での全地磁気量Fを算出して出力する。さらに、日本国内各地の全地磁気量Fは、下記の2次式(数17)で近似できる。

#### 【数17】

$$F_{2000.0} = 47505.3881 + 567.453 \Delta\phi - 294.499 \Delta\lambda - 0.225 \Delta\phi^2 - 2.975 \Delta\phi \Delta\lambda + 1.291 \Delta\lambda^2$$

$$\Delta\phi = (\text{測定位置での緯度 } \phi) - 37$$

$$\Delta\lambda = (\text{測定位置での経度 } \lambda) - 138$$

#### 【0050】

上記で得られた全地磁気量Fは、演算処理装置8に転送され、全地磁気量Fに相当する値Sh'が出力される。

次に2軸地磁気出力算出手段(S16)では、磁気センサ4で測定したx、y軸方向の地磁気量に相当する出力値を演算処理装置8に転送し、上記で得られた

S h' を用いて規格化する。第 3 軸地磁気出力算出手段 (S 18) では、x、y 軸を S h' で規格化した出力値と S h' から下記の式 (数 18) によって、この場合第 3 軸である z 軸方向の出力値を算出することができる。

【数 18】

$$|\vec{x}'_H| = \frac{|\vec{x}_H|}{|S'_h|}$$

$$|\vec{y}'_H| = \frac{|\vec{y}_H|}{|S'_h|}$$

$$|\vec{z}'_H| = \sqrt{1 - (|\vec{x}'_H|^2 + |\vec{y}'_H|^2)}$$

$|\vec{x}'_H|, |\vec{y}'_H|$ : x、y 軸方向の磁気センサの出力値を S h' で規格化した値

$|\vec{x}_H|, |\vec{y}_H|$ : x、y 軸方向の磁気センサの出力値

$|S'_h|$ : 全地磁気量 F に相当する磁気センサの出力値

【0051】

傾斜角算出手段 (S 4) では、傾斜センサ 6 で測定した x、y 軸方向の傾斜角に相当する出力値を演算処理装置 8 に転送する。重力加速度以外の加速度因子のない系での加速度センサの出力を  $W_g$  として、下記の式 (数 19) で傾斜角の算出を行う。

【数 19】

$$\alpha_g = \sin^{-1} \frac{|\vec{y}_g|}{W_g}$$

$$\beta_g = \sin^{-1} \frac{|\vec{x}_g|}{W_g}$$

$|\vec{x}_g|, |\vec{y}_g|$ : x, y 軸方向の加速度センサの出力値

$|W_g|$ : 重力加速度 g に相当する加速度センサの出力値

【0052】

以下の工程は、上記で得られた値を用いて、実施例 2 に記載した方法と同様に

方位角  $\theta$  を算出する。以上、磁気センサと傾斜センサが  $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸から選ばれるそれぞれ 2 軸で構成され、2 軸方向の各地磁気量に相当する出力値を磁気センサから取得して算出する 2 軸地磁気出力算出手段 (S 16) と、全地磁気量に相当する磁気センサ出力値  $S_h'$  入手手段 (S 14) 及び前記  $S_h'$  と 2 軸方向の磁気センサの出力から残りの第 3 軸方向の地磁気量に相当する出力値を算出する第 3 軸地磁気量算出手段 (S 18) を有する構成を基本構成に加えることにより、高精度に方位角を測定することが可能となる。

#### 【0053】

(実施例 4)

図 9 は本発明の情報入力処理装置 10 を含む 2 軸磁気センサ 4 と 2 軸傾斜センサ 6 の電子方位計 2 の概念図を示したものである。本実施例の構成は、第 3 の実施例と同様に構成されるが、情報入力処理装置 10 は偏角値入出力装置 30 と全地磁気量入出力装置 32 に加え、伏角値入出力装置 34 を有する点のみが異なる。

#### 【0054】

第 4 図は、本発明の測定位置に対応する伏角値を取得する方位測定システムのフローチャートを示したものであり、実施例 3 に加えて、伏角値入手手段 (S 20) を有する構成である。伏角値入手手段 (S 20) の以前に行う手段は、実施例 3 と同様な方法である。

#### 【0055】

先に説明した通り、地球の地磁気は水平面と平行ではなく、伏角という傾きを有しており、それは主に緯度に影響する。そしてその伏角は観測場所によって異なる。伏角値入手手段 (S 20) では、その測定位置での緯度  $\phi$  と経度  $\lambda$  を入手して測定位置に対応する伏角値  $I$  を出力する手段を示している。

まず、実施例 2 及び 3 と同様に、測定位置の緯度  $\phi$  と経度  $\lambda$  を入力し、情報入出力処理装置 10 部の伏角値入出力装置 34 において、その場所での伏角値  $I$  を算出して出力する。日本国内各地での伏角値  $I$  は、下記の 2 次式 (数 20) で近似できる。



## 【数 20】

$$I_{2000.0} = 51^{\circ}03'.804 + 73'.745 \Delta\phi - 9'.472 \Delta\lambda - 0'.771 \Delta\phi^2 - 0'.459 \Delta\phi\Delta\lambda + 0'.359 \Delta\lambda^2$$

$$\Delta\phi = (\text{測定位置での緯度 } \phi) - 37$$

$$\Delta\lambda = (\text{測定位置での経度 } \lambda) - 138$$

## 【0056】

そして上記で得られた伏角値 I を演算処理装置 8 に転送する。方位算出手段 (S 22) では、3 回回転座標式に対応する方位算出式が実施例 1 で説明した通りに与えられているため、上記で得られた伏角値 I をこの式に代入して、実施例 3 と同様に方位角  $\theta$  を算出する。

## 【0057】

以上、上記構成により、伏角値 I を入手する伏角値入手手段 (S 20) を有し、上記伏角値 I を基に方位算出手段 (S 22) を行う構成を基本構成に加えることによって、高精度に方位角を測定することが可能となる。

## 【0058】

(比較例)

表 1 は  $\alpha_g = 20^{\circ}$ 、 $\beta_g = 20^{\circ}$  のときの従来技術における方位角と本発明の方位角を設定角度に対して比較した表である。また、本表に本発明の測定システムにおけるそれぞれの軸方向の規格化した地磁気出力値と回転角から算出した方位余弦角  $\cos \theta$  と方位正弦角  $\sin \theta$  も併せて示した。

## 【0059】

【表 1】

$\theta$	規格化 x 軸	規格化 y 軸	規格化 z 軸	$\cos \theta$	$\sin \theta$	従来技術の 方位角	本発明の 方位角
0	0.126	0.116	0.758	1.000	0.000	352.7	0.0
30	0.075	0.001	0.925	0.866	0.500	23.4	30.0
60	0.002	0.052	0.946	0.500	0.866	54.0	60.0
90	0.067	0.122	0.811	0.000	1.000	84.3	90.0
120	0.320	0.096	0.584	-0.500	0.866	114.2	120.0
150	0.625	0.013	0.361	-0.866	0.500	143.7	150.0
180	0.762	0.031	0.206	-1.000	0.000	173.0	180.0
210	0.625	0.243	0.132	-0.866	-0.500	202.3	210.0
240	0.320	0.556	0.124	-0.500	-0.866	231.7	240.0
270	0.067	0.753	0.180	0.000	-1.000	261.4	270.0
300	0.002	0.684	0.314	0.500	-0.866	291.5	300.0
330	0.075	0.402	0.524	0.866	-0.500	321.9	330.0
360	0.126	0.116	0.758	1.000	0.000	352.7	360.0

## 【0060】

表1の結果から、従来技術においては設定した角度に対して若干小さな値を示しており、数値的には $-9 \sim -7^\circ$ 程度のずれを生じていることが判る。また、このずれ角度は、 $\alpha g$ と $\beta g$ が大きくなる程、大きくなる傾向にある。それに対して、本発明のシステムにより算出された方位角は、設定した方位角 $\theta$ とほぼ同じ値となり、ほぼずれ角度を生じないということが判る。

## 【0061】

さらに、詳細に本実施例と従来技術との比較を行った。

図10は、本発明の実施例による電子方位計と従来技術における電子方位計を用いた場合の方位角度のずれについて説明するための比較図である。

電子方位計の利用者は、様々な使用方法、持ち方をすることが想定されるため

、ここではいくつか傾斜角を変えた場合に算出された方位角についての比較を行った。また、図中の横軸は設定した方位角度であり、縦軸は従来例と本発明による算出方位角と設定した方位角とのずれを示したものである。図中の白抜き三角、四角、丸、菱形は従来技術における  $\alpha g$  および  $\beta g$  を変えたときの設定角とのずれ角度を示しており、図中の黒丸は本発明における設定角とのずれ角度を示している。

#### 【0062】

図10から判るように、従来技術では、傾斜角によって正のずれ、負のずれを生じることが分かる。また、傾斜角度が大きくなるほど、ずれ角度は大きくなり、例えば白抜き三角印 ( $\alpha g = 20^\circ$ 、 $\beta g = 20^\circ$ ) と比較して白抜き四角印 ( $\alpha g = 40^\circ$ 、 $\beta g = 20^\circ$ ) のときの方がずれ角度は大きくなっている。一方、本発明では、 $\alpha g = 40^\circ$ 、 $\beta g = 20^\circ$  の時の結果を示しているが、設定角度とのずれ角度はほぼ零であり、傾斜角が大きくなっても、精度良く算出測定できることが判る。

#### 【0063】

上記の実施例の説明の中で、規格化の方法として、全地磁気量  $H$  に相当する  $S_h$  によって規格化した但、全地磁気量を算出する方法として、地磁気の水平成分と伏角を知ることによって、全地磁気量を測定することも可能である。この方法では、電子方位計を水平面上で1回転させたときの出力の最大値が地磁気の水平成分に相当する出力となるため、その出力から  $S_h$  を算出することもできる。

#### 【0064】

上記の実施例の傾斜センサとして加速度センサを用いて説明を行ったが、水平面と各軸とのなす角を測定できる傾斜センサであれば、加速度センサに限定されるものではない。

#### 【0065】

実施例2、3、4では日本国内での方法について述べたが、これに限定するものではなく、世界中のあらゆる地域においても緯度と経度の測定位置が分かれば、偏角値  $D$ 、全地磁気量  $F$ 、伏角値  $I$  は分かる。この緯度、経度を取得することによって、偏角値  $D$ 、全地磁気量  $F$ 、伏角値  $I$  の情報をデータベースとして予

め作製することによって、世界中のあらゆる地域での偏角値D、全地磁気量F、伏角値Iを知ることができる。

#### 【0066】

また、算出式についても、上記実施例に限定するものではなく、利用者が偏角値Dを直接入力して行う方法、位置情報を通信、電波或いはGPS（グローバルポジショニングシステム）などにより自動的に取得して測定式で算出する方法或いはネットワーク上にある位置情報と偏角値D、全地磁気量F、伏角値Iの対応表を備えたサーバーにアクセスして自動的に取得する方法等を利用しても良い。

#### 【0067】

本発明の実施例1から4の電子方位計は、ICモジュール的な説明を行ったが、それに限定されるものではなく、表示装置、電源を備えて単体で動作する電子方位計でもよい。また、各種電子機器への組み込み用でも、磁気センサ4、傾斜センサ6、演算処理装置8、情報入力処理装置10の全てがひとつにまとまっていることには限定されず、例えば演算処理装置8や情報入力処理装置10の機能は、各種機器側のCPUやマイコンで行っても良い。

#### 【0068】

本発明の第2から第4の実施例の電子方位計で、偏角値、全地磁気量、伏角値の情報入出力装置10から出力したが、それぞれの実施例の場合に限定されるものではなく、情報入出力装置10は測定位置の緯度と経度から偏角値と全地磁気量と伏角値のデーターを取得できるもので、データの選択組み合わせは自由である。また選択しなかった場合でも、初期値を演算処理装置8内に記憶させておくことで測定が可能となる。

#### 【0069】

##### 【発明の効果】

電子方位計の利用者は、様々な使用方法、持ち方をすることが想定され、電子方位計すなわち磁気センサが水平面に対して傾斜した状態で使用することも十分に考えられる。その様な場合においても、本発明によれば、傾斜した状態でも高精度に方位角を算出することができることが可能となり、特に携帯電話、PDA

といった携帯情報端末や腕時計などに有効な方位測定システム及び電子方位計となる。また、方位測定システムで用いるアルゴリズムも簡素な形であり、各種機器に組み込みやすいという特徴も有する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の基本構成である第 1 の実施例のフローチャートを示した図である。

【図 2】

本発明の第 2 の実施例のフローチャートを示した図である。

【図 3】

本発明の第 3 の実施例のフローチャートを示した図である。

【図 4】

本発明の第 4 の実施例のフローチャートを示した図である。

【図 5】

従来例のフローチャートを示した図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施例の電子方位計を示す概念図である。

【図 7】

本発明の第 2 の実施例の電子方位計を示す概念図である。

【図 8】

本発明の第 3 の実施例の電子方位計を示す概念図である。

【図 9】

本発明の第 4 の実施例の電子方位計を示す概念図である。

【図 10】

本発明の実施例と従来例の方位算出角を比較した図である。

【符号の説明】

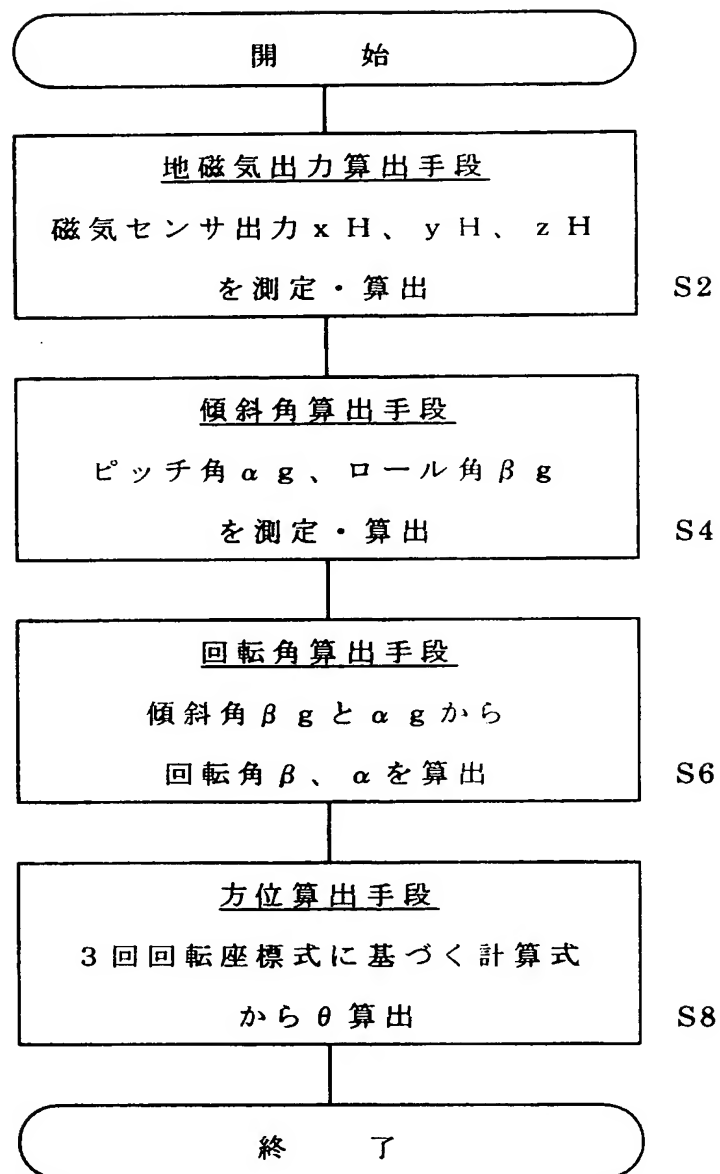
- 2 電子方位計
- 4 磁気センサ
- 6 傾斜センサ
- 8 演算処理装置

- 1 0 情報入出力装置
- 1 2 x 軸磁気センサ
- 1 4 y 軸磁気センサ
- 1 6 z 軸磁気センサ
- 1 8 磁気センサ信号処理回路
- 2 0 x 軸傾斜センサ
- 2 2 y 軸傾斜センサ
- 2 4 z 軸傾斜センサ
- 2 6 傾斜センサ信号処理回路
- 3 0 偏角値入出力装置
- 3 2 全地磁気量入出力装置
- 3 4 伏角値入出力装置

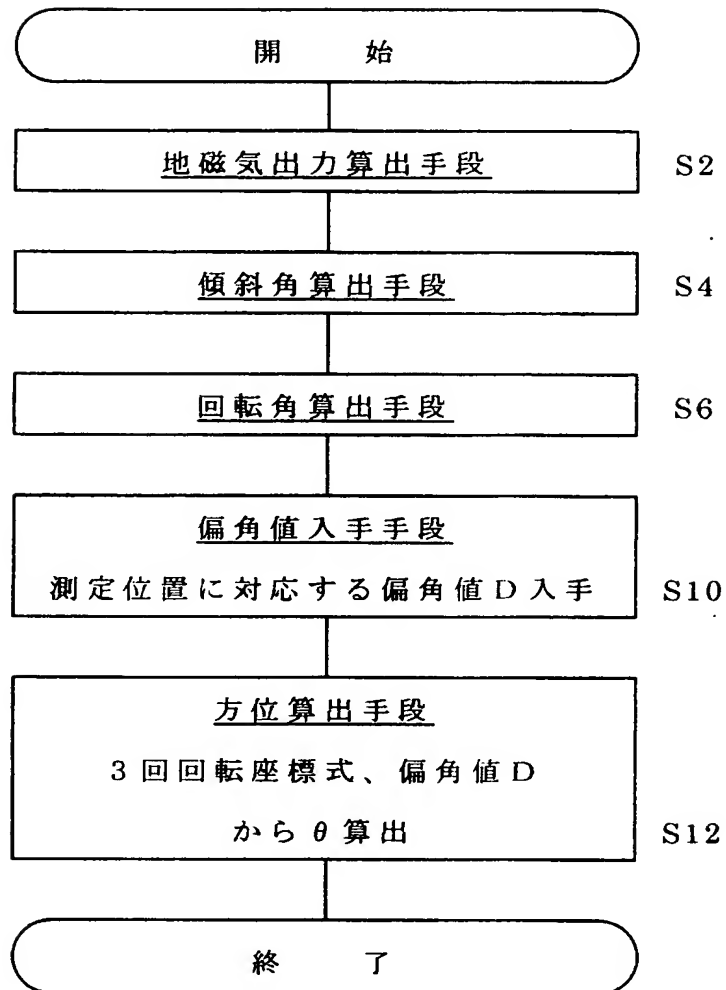
【書類名】

図面

【図 1】

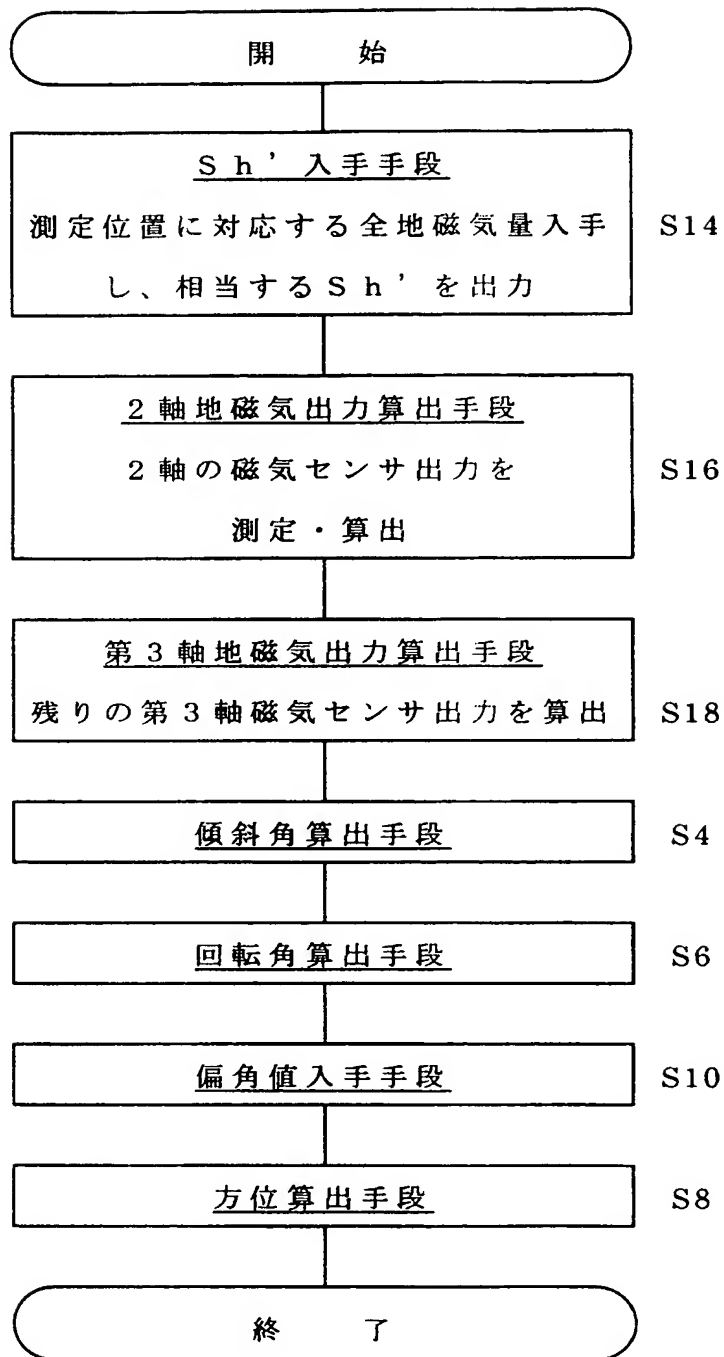


【図 2】

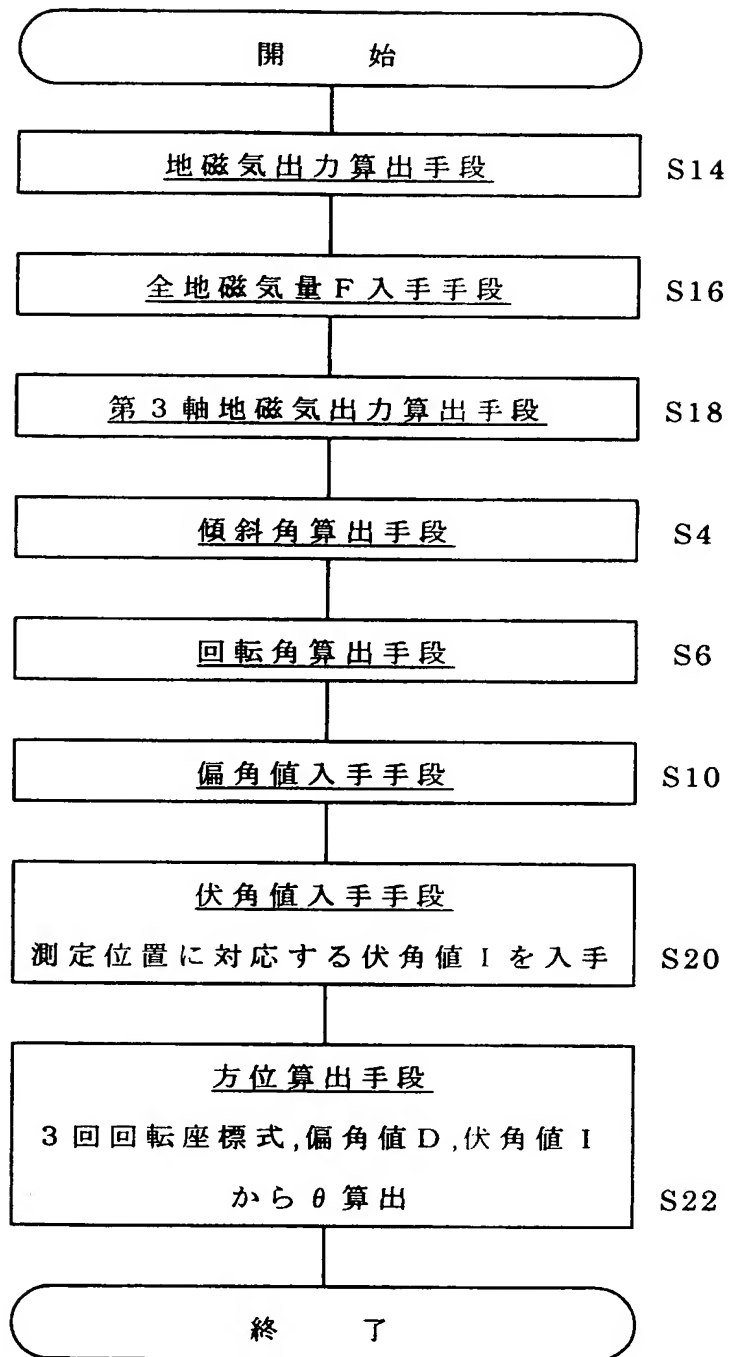




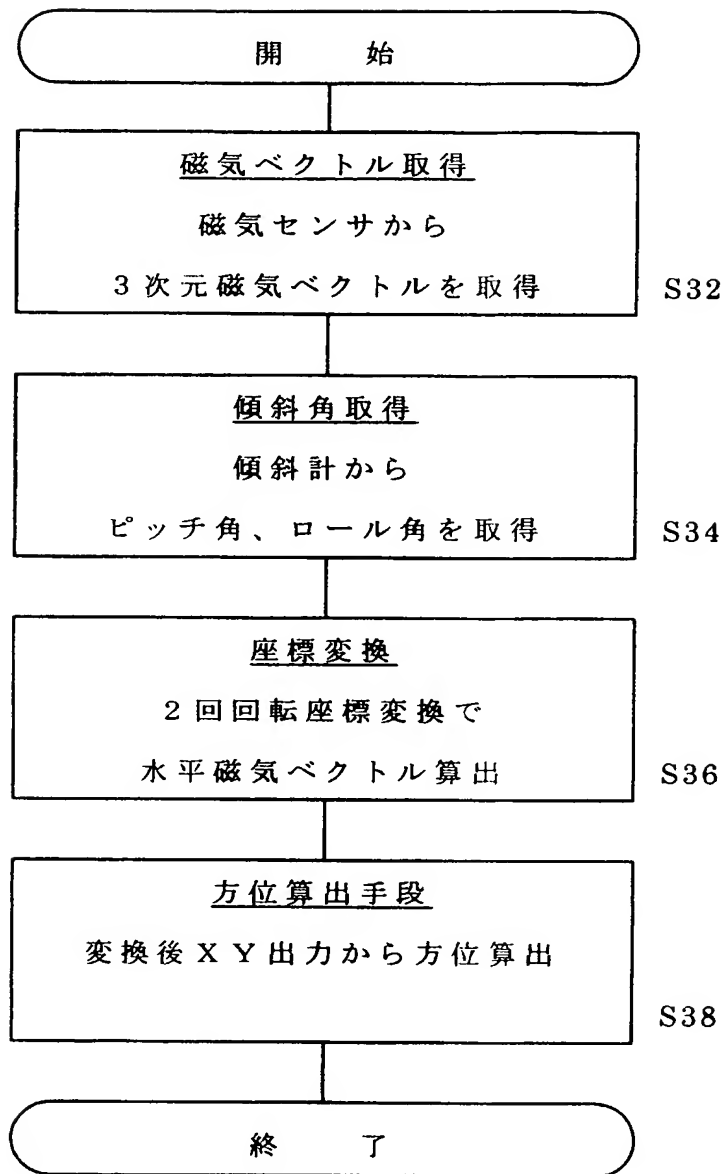
【図 3】



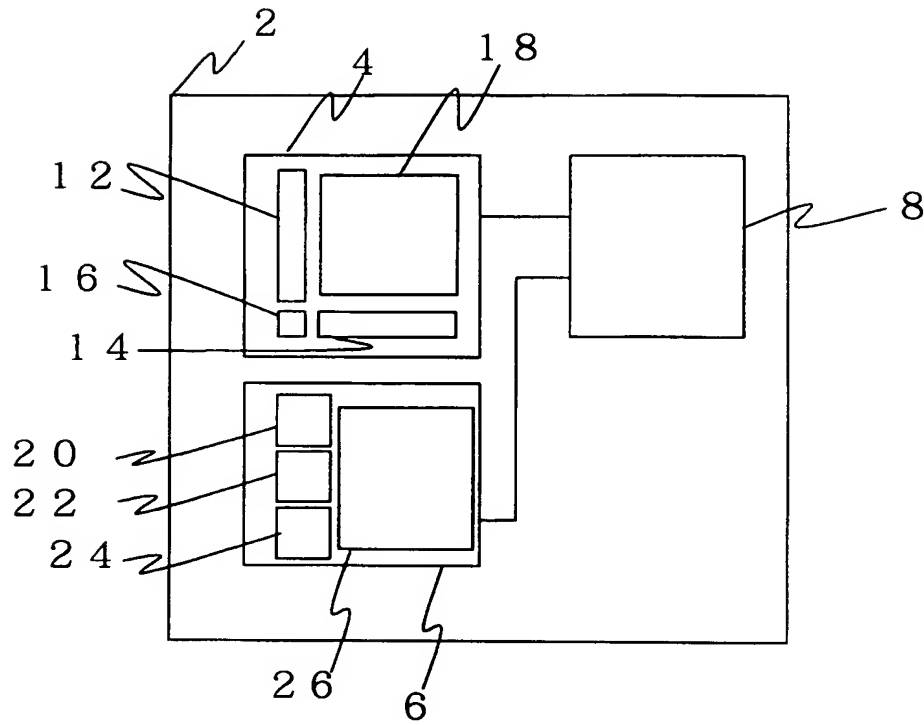
【図 4】



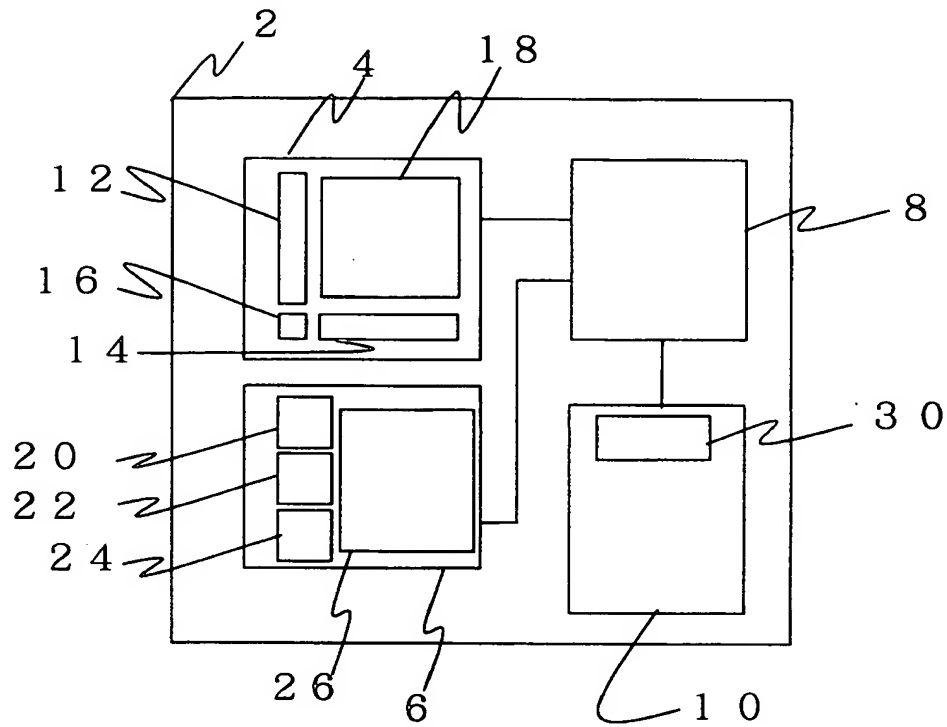
【図 5】



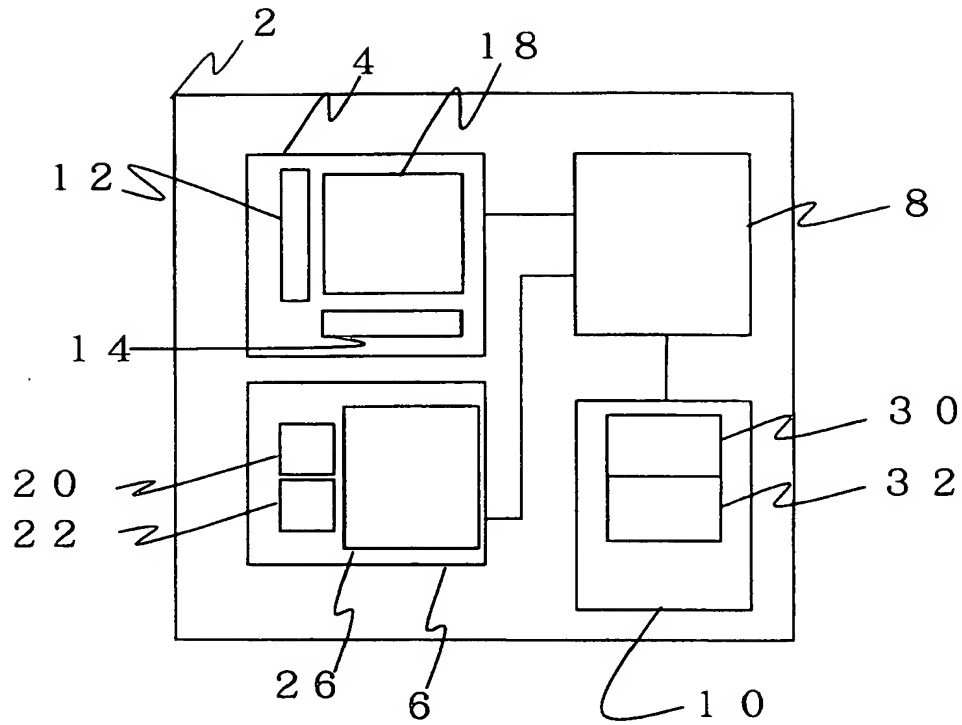
【図 6】



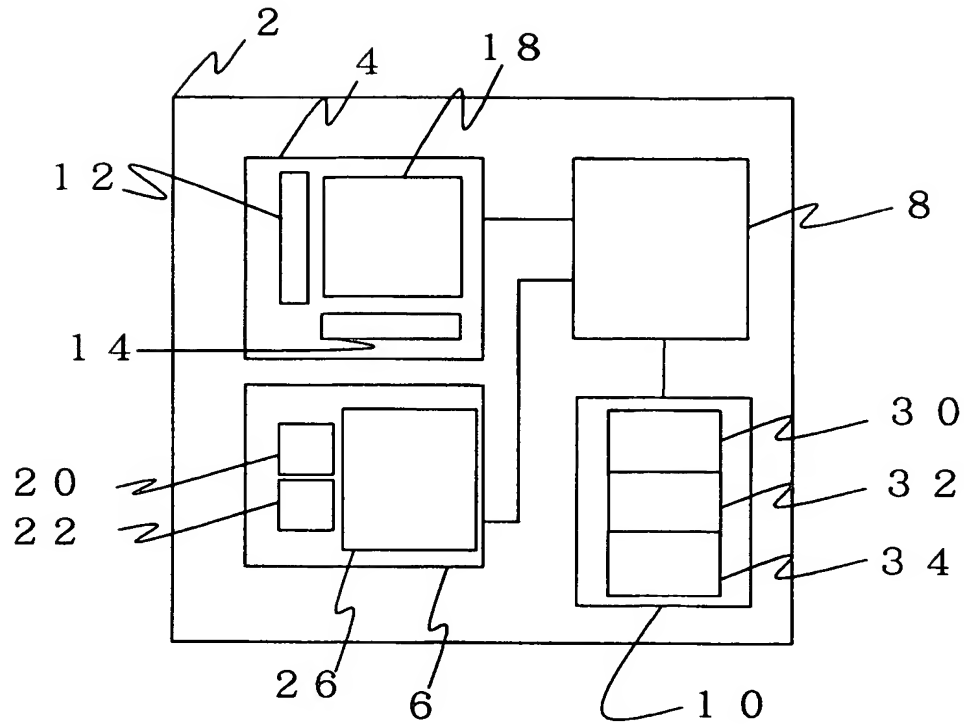
【図 7】



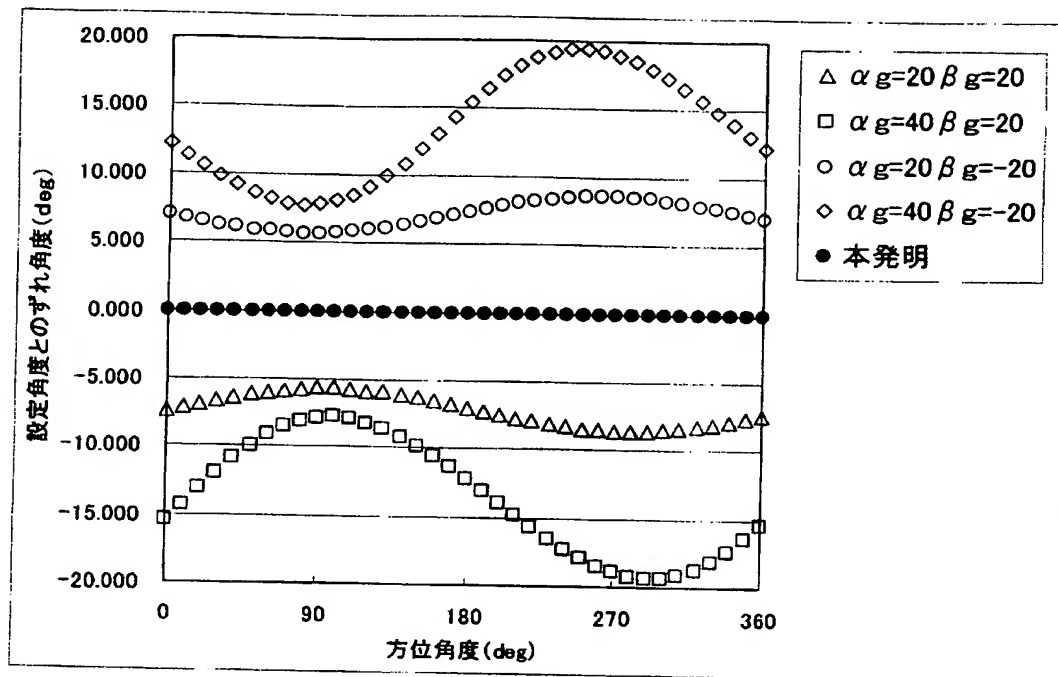
【図 8】



【図 9】



【図 10】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電子方位計が水平面から傾斜した場合には、方位角を正確に測定することができなかった。

【解決手段】 本発明は観測軸である  $x$  軸と直交する  $y$ 、 $z$  軸に配置された少なくとも 2 軸の磁気センサと少なくとも 2 軸の傾斜センサを具備し、観測軸方向の方位を測定する手段を有する電子方位計において、前記  $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸方向の各地磁気量に相当する出力値を磁気センサから取得して算出する地磁気出力算出手段と、前記  $x$  軸と水平面のなすロール角  $\beta_g$  と前記  $y$  軸と水平面のなすピッチ角  $\alpha_g$  を前記傾斜センサから取得して算出する傾斜角算出手段と、前記ロール角  $\beta_g$  と前記ピッチ角  $\alpha_g$  から回転角  $\beta$ 、 $\alpha$  を算出する回転角算出手段と、3 回回転座標式に基づく算出式から方位を算出する方位算出手段により構成される。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 5 8 0 6 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 1 9 6 0 ]

1. 変更年月日 2 0 0 1 年 3 月 1 日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号

氏 名 シチズン時計株式会社